

ANDRZEJ ŻELAŻNIEWICZ¹, RYSZARD GRADZIŃSKI¹, KRZYSZTOF JAWOROWSKI²,
TERESA MADEYSKA¹, ANDRZEJ MANECKI³, RYSZARD MARCINOWSKI⁴, LESZEK MARKS²

LITOSFERA POLSKI: POZNAWCZE I PRAKTYCZNE ASPEKTY BADAŃ GEOLOGICZNYCH

1. WSTĘP

Litosfera jest zewnętrzną częścią globu, zbudowaną z materii zestalonej – skalnej. Jej skrajna sfera to znana wszystkim skorupa ziemska. To jest ta część globu, na której stawiamy nasze domy, po której chodzimy, jeździmy, budujemy tunele, rozkopujemy wydobywając potrzebne nam rudy metali, węgle, czy tylko glinę na cegły, wiercimy dla pozyskania ropy naftowej lub gazu, głębimy studnie zapewniające wodę do picia, orzemy, nawozimy i pielęgnujemy by zebrać, co z zasiane go wyrośnie, a w końcu grzebiemy w niej wytworzone przez nas odpady, łącznie z radioaktywnymi, nas samych nie wyłączając. Kontakt nasz z litosferą jest dokładnie tak samo powszechny jak kontakt z atmosferą. I równie mało w codziennym życiu postrzegany, zwłaszcza w takim kraju jak Polska, gdzie litosfera nie niesie zbyt wielkich zagrożeń. Inaczej jest tam, gdzie ziemia rzadziej lub częściej trzęsie się pod nogami, burzy co na niej zbudowano, niszczy także i ludzkie życie, a długa fala tsunami pustoszy wybrzeże morskie. Albo tam, gdzie przy wulkanicznym wybuchu ziemia gwałtownie wydycha z siebie gazy i wylewa roztopione w swym wnętrzu skały. Wtedy u mieszkańca takiego rejonu Ziemi rodzi się praktyczne zainteresowanie tym, co właściwie dzieje się pod jego stopami, jakie to potężne procesy zachodzą w litosferze. Podobnie jest i u nas, gdzie niedawne trzęsienie ziemi w północno-wschodniej Polsce, o stosunkowo małym natężeniu, wzbudziło wielkie zainteresowanie mediów i społeczeństwa. Jednak niezbyt wielka czę-

¹ Instytut Nauk Geologicznych PAN, Komitet Nauk Geologicznych PAN

² Państwowy Instytut Geologiczny, Komitet Nauk Geologicznych PAN

³ Akademia Górniczo – Hutnicza, Komitet Nauk Mineralogicznych PAN

⁴ Uniwersytet Warszawski, Komitet Nauk Geologicznych PAN

stość i dość mała siła trzęsień ziemi zdarzających się w Polsce pozwalają, na szczęście, zaliczać nasz kraj do obszarów generalnie asejsmicznych.

Poznawaniem i wyjaśnianiem procesów formujących litosferę zajmuje się geologia. Dzięki niej właśnie coraz lepiej rozumiemy i przyczyny wybuchu wulkanów i mechanizmy trzęsień ziemi. Te groźne zjawiska to wynik wzajemnego oddziaływania płyt litosfery. W skali globu geologia stara się poznać wewnętrzną budowę tych płyt, przewidzieć sposób i konsekwencje ich kolizji. W skali regionu geologia stara się dobrze poznać budowę konkretnego fragmentu skorupy ziemskiej, odczytać historię jego rozwoju. Wśród celów tych badań jest określenie warunków występowania ciągle człowiekowi potrzebnych surowców mineralnych, przewidzenie możliwości wystąpienia osuwisk, ustalenie dróg krążenia wód podziemnych, lub tylko rozpoznanie podłoża dla postawienia nowego budynku. Gdyby w XII wieku w Pizie wykonano odpowiednie badania geologiczne i wyciągnięto z nich właściwe wnioski, nie byłoby dziś słynnej krzywej wieży, bo nie zbudowano by jej w starym estuarium rzeki Arno – miejscu o niekorzystnej budowie geologicznej dla posadowienia takiej budowli. Ale w XII wieku geologia jako nauka jeszcze nie istniała, ani w swym podstawowym, ani praktycznym, aplikacyjnym zakresie. Nie da się ich zresztą zbyt rozdzielić. Trudno myśleć o zastosowaniu czy wykorzystaniu czegoś, co wcześniej nie zostało zbadane i poznane. Dziś, w odniesieniu do geologii, a właściwie w odniesieniu do wszystkich nauk o Ziemi, wielu zdaje się o tym zapominać. Litosfera zbudowana jest ze skał, a skały z minerałów. Poznawaniem i wyjaśnianiem procesów minerałotwórczych i skałotwórczych, a także badaniem minerałów i skał tworzących złoża surowców użytecznych oraz wspomaganie ich praktycznego wykorzystania zajmują się nauki mineralogiczne: mineralogia, petrologia i geochemia. Obiektem badań mineralogii są minerały, ich struktura krystaliczna, własności fizyczne i chemiczne, powstawanie, sposoby przeobrażeń i występowania. Rozpoznawanie, poszukiwanie i wykorzystywanie minerałów od początku kształtowało kulturę materialną ludzkości – budownictwo, sztukę, rzemiosło artystyczne. Mineralogia w sposób znaczący stale przyczynia się do rozwoju cywilizacji, która przeszła drogę od krzemianych narzędzi jaskiniowca po „krzemową dolinę” człowieka współczesnego. Chyba każdy z nas ma jakieś urządzenie zawierające kwarc, które działa dzięki poznaniu i wykorzystaniu szczególnych własności tego minerału. Dziś intensywnie rozwija się kosmomineralogia. Przedmiotem badań petrologii są skały, przede wszystkim ich powstawanie w litosferze, w warunkach procesów magmowych, osadowych i metamorficznych, ale także drogi migracji pierwiastków, czy też np. węglowodorów, lub też obiekty archeologiczne (petroarcheologia). Petrologia pełni zatem także ważną rolę kulturotwórczą. Geochemia zajmuje się historią naturalną i obiegiem pierwiastków w minerałach i skałach, dzięki czemu lepiej dziś potrafimy odtwo-

rzać warunki ich powstawania i bardziej precyzyjnie poszukiwać złożowych koncentracji surowców mineralnych tzw. I i II generacji.

2. SZCZEGÓLNE POŁOŻENIE POLSKI

W poniższym przeglądzie ewolucję litosfery rozpatrzono z polskiej perspektywy. Polska jest bowiem szczególnym miejscem w Europie, gdyż w naszym kraju znajduje się granica pomiędzy dwiema zupełnie odmiennymi częściami kontynentu: między starym, prekambryjskim kratonem wschodniouuropejskim a znacznie młodszą fanerozoiczną częścią zachodniouuropejską. Jesteśmy naturalnym łącznikiem między wschodnią i zachodnią Europą. Takie położenie naszego kraju wyznacza nie tylko geopolityka, ale i geotektonika. Polska to nie tylko linia lorda Curzona, ale także linia Teisseyre'a-Tornquista (Fig. 1, str. 68). Czyż nie jest fascynująca świadomość, że ruchy płyt litosfery około 750 mln lat temu rozerwały pra-Polskę i pra-Europę wzdłuż tej linii i odsunęły oderwany fragment tak, że znajduje się on dziś w obrębie amazońskiej części Ameryki Południowej? Można sobie wyobrazić, jakie mogły być trzęsienia ziemi w tamtym czasie! Czy nie jest frapujący fakt, że po około 400 mln lat, gdy oderwane fragmenty zostały zastąpione nowymi częściami kontynentu, potężne siły z wnętrza Ziemi, powodując rozpad permsko-triasowego superkontynentu Pangei, usiłowały w mezozoiku Polskę ponownie rozerwać, i to w tym samym miejscu co około 750 mln lat temu? Działo się to wtedy, gdy południowa część Europy została skutecznie rozbita na rozdzielone morzem Tetydy kontynentalne bloki, a które dziś wkomponowane są w orogen alpejski. Gdyby nie opór, jaki w mezozoiku postawiła wewnętrznym siłom globu litosfera Polski, moglibyśmy mieć teraz w Polsce łańcuch górski biegnący od Bałtyku po Morze Czarne! I gdyby nie badania geologiczne, nigdy byśmy nie wiedzieli o tym, co poniekąd straciliśmy (patrz Fig. 1).

Rozrywanie, dryf, a potem kolizje płyt litosferycznych w paleozoiku, mezozoiku i w kenozoiku sprawiły, że mamy w Polsce, która dziś należy w całości do Europy, fragmenty dwóch niegdyś istniejących kontynentów: Baltiki oraz Gondwany. Wiek skał tworzących litosferę Polski obejmuje połowę historii naszego globu, od wczesnoproteozoicznych skał mających ponad 2 mld lat po współczesne, holoceńskie. O tym również nie wiedzielibyśmy, gdyby na użytek geologii nie zostały wykorzystane naturalne zegary izotopowe, istniejące dzięki zjawisku promieniotwórczości i przemian izotopów niektórych pierwiastków o różnej długości okresu połowicznego rozpadu.

3. EWOLUCJA LITOSFERY POLSKI

3.1. Proterozoik

Najstarsze skały wieku 2.1–1.9 Ga znajdują się we wschodniej i południowo-wschodniej Polsce (Fig. 1 i 2). Nie są one znane na powierzchni, a jedynie z wierceń oraz dzięki danym geofizycznym. Skały te stanowią fragment pasa utworów magmowych, który we wczesnym proterozoiku utworzył się przy najstarszej, archaicznej części kontynentu Baltiki – tzw. Sarmacji wieku 3.7–3.0 Ga. Jest ona odsłonięta na tarczy ukraińskiej i dostępna tam bezpośredniej obserwacji. Młodsza nieco część Baltiki to Fennoskandia wieku 1.9 – 1.7 Ga. Jest to ta część, która tworzy podłoże całej Polski północno-wschodniej, a także krajów bałtyckich i Finlandii (Fig. 1). W Polsce skały tego podłoża znane są tylko z rdzeni wiertniczych, a więc bardzo fragmentarycznie. Stąd ciągle tu wiele niejasności co do warunków ich powstania i ewolucji w skorupie. Są to skały głęboko zmetamorfizowane i zdeformowane, w które wnikały intruzje magmowe. Część tych intruzji tworzyła się po zakończeniu wszystkich procesów tektonicznych w fennoskandzkiej skorupie. Są to tak zwane granity anorogeniczne. Ich pojawienie się przypada głównie na interwał 1.55–1.45 Ga, choć są i starsze, i młodsze – wieku około 350 mln lat (patrz Fig. 2).

Interesującym składnikiem skorupy Baltiki w pobliżu linii Teisseyre’a-Tornquista są na Wołyniu dość rozległe pokrywy law oraz popiołów bazaltowych (tufów), zdecydowanie młodszych od swego swekofeńskiego otoczenia, bo wieku „zaledwie” 570–540 Ma. Zachodni skraj obszaru występowania tych popiołów nieznacznie przekracza wschodnią granicę Polski (Fig. 1, przerywana zielona linia). Skały te świadczą o intensywnym wulkanizmie, zbliżonym do tego jaki uformował znacznie młodsze, bo paleoceńskie (ok. 60 mln lat temu), tzw. trapy bazaltowe Dekanu w Indiach. Mimo tak różnego wieku geneza obu pokryw lawowych jest podobna i wiąże się z podskorupową aktywnością płaszczka. Na Wołyniu bazaltowa magma pochodząca z bardziej gorącego niż jego otoczenie płaszczowego „bąbla” przez około 30 mln lat wydobywała się tu na powierzchnię.

W tym czasie ówczesna Baltika pozbawiona już była swej drugiej, obecnie „amazońskiej” połowy. Linia Teisseyre’a-Tornquista stanowiła skraj tego kontynentu, którego obrzeże znacznie zostało wycienione w trakcie rozciągania litosfery przed jej ostatecznym rozerwaniem. Na tym cieńszym skraju gromadziły się skały osadowe, najpierw zapisujące etap zapadlisk związanych z rozciąganiem pra-Baltiki, a potem już skłonu kontynentalnego, podobnego do tego, jaki widzimy dziś wzdłuż wschodnich wybrzeży obu Ameryk. Była to więc krawędź w stylu atlantyckim, tzw. pasywna, akumulująca osady o miąższości około 10 km (Fig. 3 i 4, str. 69). Z badań paleomagnetycznych wynika, że w pobliżu Baltiki, i to wła-

śnie od strony pasywnej krawędzi Teisseyre'a-Tornquista, znajdował się blisko kontynent Gondwany z obrzeżem, które – przeciwnie do naszego – było tektonicznie aktywne. To tektonicznie aktywne obrzeże miało styl pacyficzny, podobny do tego, jaki dziś obserwuje się na Zachodnim Pacyfiku, wzdłuż łukowatych archipelagów wysp Kurylskich i Japońskich.

Taka konfiguracja paleogeograficzna dwóch blisko siebie położonych kontynentów doprowadziła do dość wyjątkowej sytuacji w „polskim” odcinku obrzeża Baltiki. Otóż pojawiła się przy nim na przełomie prekambriu i kambriu wyspa, dziś obejmując co najmniej rejon Górnego Śląska i Moraw w Czechach, a prawdopodobnie także i rejony skryte obecnie głęboko pod nasuniętymi nań w miocenie Karpatami (Fig. 1 i 2, str. 68). Wyspa ta była w istocie fragmentem skrajnych części kontynentu Gondwany, od którego została oderwana w wyniku rozciągania za jego brzeżnym łukiem. Przemieszczony wzdłuż skorupowych uskoków fragment uległ kolizji z Baltiką, a związane z nim skały osadowe przykryły pasywną krawędź Baltiki w strefie dzisiejszej Małopolski. Przypuszczalnie fragment ów był większy i rozciągał się dalej ku SE, aż po rejon Dobrudży (Fig. 1). Uległ on tam potem znów fragmentacji i ponownemu oderwaniu, ale już w trakcie wydarzeń paleozoicznych i mezozoicznych (patrz Fig. 3 i 4).

3.2. *Paleozoik*

Łuk magmowy, tzw. kadomski, który rozwijał się u wybrzeży zachodniej Gondwany w neoproterozoiku aż po wczesny kambry, poddany był jednocześnie rozrywaniu na mniejsze bloki. W obrębie Polski, pochodzące z Gondwany bloki litosfery znane są nie tylko z Górnego Śląska, ale również z północno-zachodniej jak i z południowo-zachodniej Polski. Na Pomorzu taki fragment litosfery – tzw. terran – gondwańskiego pochodzenia nazwany został Wschodnią Awalonią. Terran ten dołączył do pasywnego obrzeża Baltiki przy końcu ordowiku, tworząc kolejny półwysep tego kontynentu. Na północ od awalońskiego półwyspu, poza obszarem Polski, doszło w sylurze do kolizji Baltiki z kontynentem Laurencji, którego archaiczne jądro stanowi dzisiejsza tarcza kanadyjska. W miejscu kolizji powstał orogen kaledoński (Fig. 1 i 2). Po rozpadzie Pangei w mezozoiku, dziś jego wschodnia połowa znajduje się w Norwegii i w Szkocji, a połowa zachodnia, rozdzielona od wschodniej Atlantyką, na Grenlandii.

Baltika, skutkiem kolizji z fragmentami pochodzącymi z Gondwany, na początku syluru miała już dwa półwyspy: jeden górnośląsko-morawski, drugi awaloński. Pomiędzy nimi wytworzyła się obszerna zatoka. W młodszym paleozoiku, w karbonie, zatokę tę zaczęły wypełniać inne terrany, również wywodzące się z Gondwany (Fig. 5, str. 69). Tym razem jednak bardzo blisko za nimi znajdowała się główna ma-

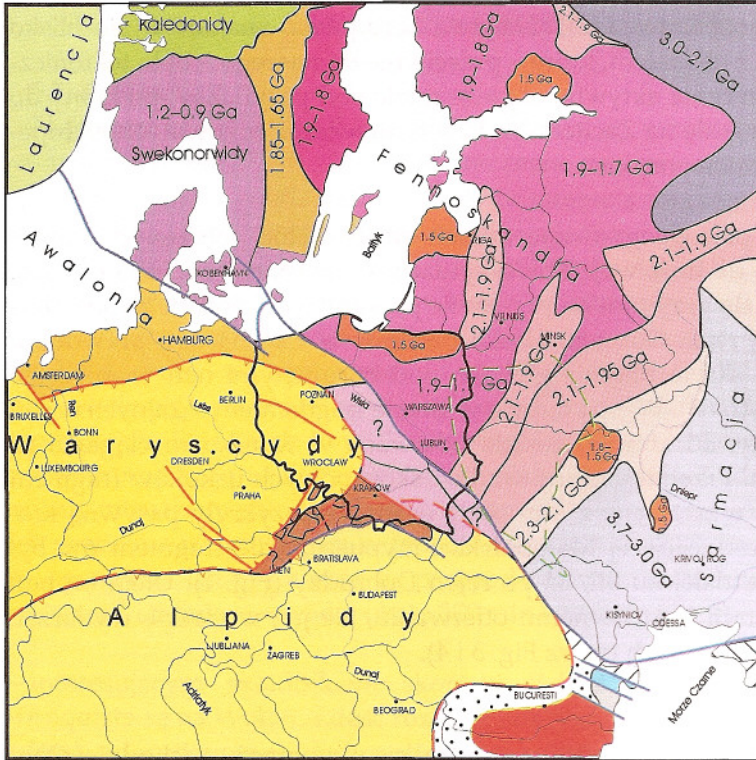


Fig. 1. Struktura litosfery Polski na tle sąsiednich obszarów Europy.

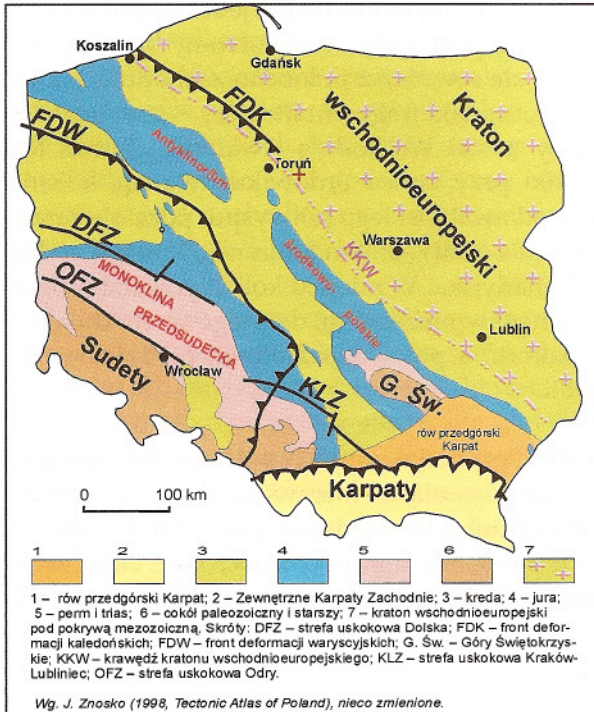


Fig. 2. Szcik tectoniczny Polski.

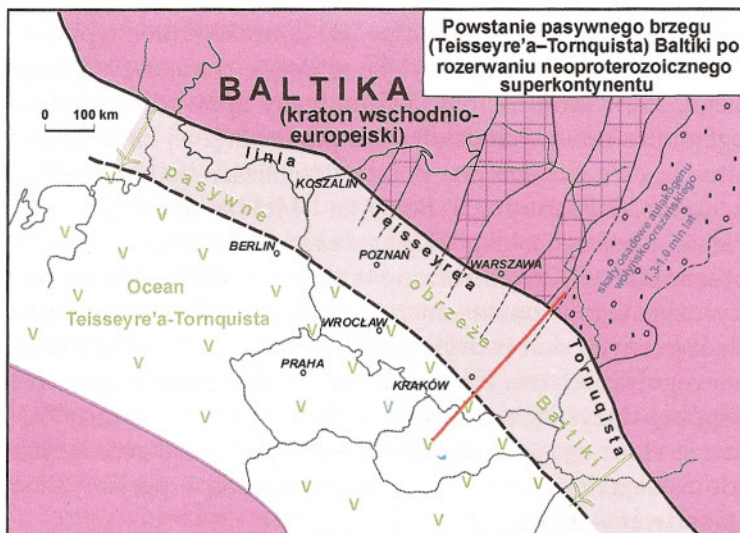


Fig. 3. Sytuacja Baltiki po rozerwaniu (~750 Ma) neoproterozoicznego superkontynentu wzdłuż linii Teisseyre'a-Tornquista. W wyniku tego wydarzenia utworzył się Ocean Teisseyre'a-Tornquista oraz pasywne obrzeże Baltiki typu atlantyckiego akumulujące osady na wycienionej skorupie kontynentu (por. Fig. 4). Legenda: kratka - pasy granulitowe; czerwona linia - przekrój z Fig. 4.



Fig. 4. Schemat struktury pasywnego obrzeża kontynentu typu atlantyckiego w przekroju.

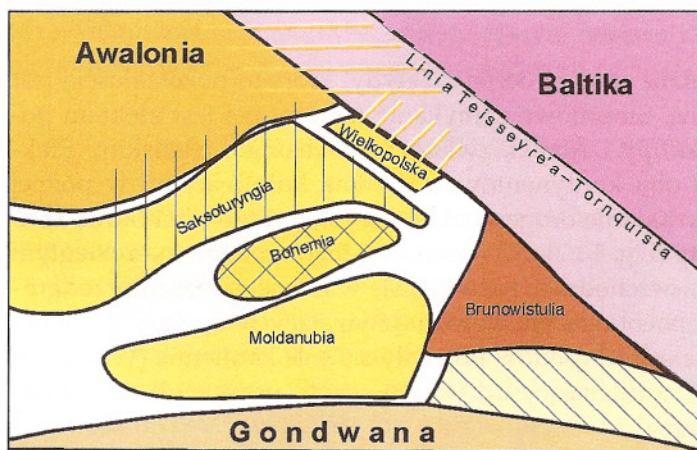


Fig. 5. Szkic ilustrujący wzajemne położenie terenów pochodzenia gondwańskiego na początku karbonu, przed ostateczną kolizją z Baltiką.

sa tego kontynentu rotująca w prawo, która stopniowo, ale konsekwentnie wpychała te terrany w ową zatokę. W ten sposób utworzył się w Polsce charakterystyczny łuk orogenu waryscyjskiego. Prawoskrętna rotacja Gondwany spowodowała uruchomienie w obrębie orogenu przesuwczych uskoków o prawoskrętnej kinematyce. Te waryscyjskie terrany, to leżąca najbardziej na północ i najbliższa Baltiki Wielkopolska, potem dociśnięta do niej Saksoturynia, Bohemia i Moldanubia (Fig. 5, str. 69). Tworzą one dziś w całości podłoże Dolnego Śląska wraz z Sudetami i ich przedgórzem oraz sięgają na obszar Łużyc i Czech. Terrany te stanowią także główne zręby masywu czeskiego, wyróżnianego w obrazie mapy geologicznej dzisiejszej Europy jako potężny blok paleozoicznych skał (waryscyjskich), odcięty uskokami i podniesiony w stosunku do swego sąsiedztwa zbudowanego ze skał mezozoicznych i kenozoicznych. Cechą wspólną wszystkich peri-bałtyckich terranów z obszaru Polski jest posiadanie przez nie starszego podłoża zbudowanego ze skał należących niegdyś do orogenu kadomskiego, zajmującego w neoproterozoiku peryferyczną pozycję przy zachodniej Gondwanie (patrz Fig. 5).

3.3. *Mezozoik*

Wydarzenia późnopaleozoiczne doprowadziły do wytworzenia w permie jednego wielkiego superkontynentu zwanego Pangeą, którego istnienie nie było jednak długie. Już w triasie, pod wpływem potężnych sił rodzących się w termomechanicznie niestabilnym płaszczu Ziemi, superkontynent ten zaczął się rozpadać. W jurze skutecznie wyodrębniła się z niego, między innymi, Europa i Afryka. Południowa część Europy została dodatkowo rozerwana na mniejsze fragmenty, wbudowane obecnie w orogen alpejski, takie np. jak masywy Aar lub Monte Rosa. Dalsze rozbitcie Europy nie powiodło się, choć wspomnianą już, biegnąca przez Polskę linia Teisseyre'a-Tornquista, stanowiła strefę poważnego osłabienia wewnątrz kontynentu europejskiego. Dlatego właśnie wzdłuż niej, w basenie środkowopolskim, doszło do nagromadzenia osadów o znacznej miąższości (Fig. 2).

3.4. *Kenozoik*

Afrykę i Europę rozdzielała odnoga oceanu Tetydy, którego pozostałością jest dzisiejsze Morze Śródziemne. Stopniowe zamykanie tego morza jest efektem postępującego zbliżania się Europy i Afryki, zwłaszcza w rejonie helleńskim. Efektem dotychczasowej kolizji obu kontynentów, z dwoma kulminacjami w późnej kredzie i w miocenie, jest powstanie orogenu alpejskiego, którego wschodnią kontynuacją w Polsce są Karpaty (Fig. 1 i 2). Na przedpołu tego orogenu, na rozległym obszarze Polski południowo-wschodniej, rozwinął się w miocenie basen przedgórski wypełniany materiałem pochodzącym z erozji dźwigających się Karpat. Ciepły ówczesny klimat sprawił, że wśród osadów pojawiły się sole kamienne (Wieliczka, Bochnia) oraz gipsy (Nida), a migrujący od Karpat metan przyczynił się do powstania złóż siarki (Tarnobrzeg).

Ta bardzo krótka charakterystyka ewolucji litosfery w Polsce pokazuje ogromną dynamikę tego procesu, choć oczywiście odniesioną do czasu geologicznego. Aby naszkicowany obraz zjawisk geologicznych w Polsce był pełny, do historii co najmniej 5 zdarzeń orogenicznych, jakie wspólnie złożyły się na utworzenie ziem polskich, dodać należy najnowsze wydarzenia związane z ogólnym ochłodzeniem i intensyfikacją zmian klimatycznych w neogenie i czwartorzędzie. W czasie ostatnich 950 ka obszar Polski doznał kilkakrotnie zlodowaceń (glacjalów), a teraz najprawdopodobniej znajduje się w kolejnym okresie międzylodowcowym (inter – glacjalnym). Obecny kierunek procesu, czy zmierzający do dalszego globalnego ocieplenia, czy przeciwnie – do ochłodzenia – skoro optimum klimatyczne holocenu, ze średnią temperaturą roczną o 2°C wyższą od obecnej, minęło już ~ 5 tysięcy lat temu, nie jest całkiem jasny. Rozbieżne opinie – specjalistów i niespecjalistów – często są upowszechniane w środkach masowego przekazu, szczególnie w oparciu o zwiększającą się zawartość tzw. gazów cieplarnianych w atmosferze, co często przypisywane jest wyłącznie działalności człowieka. Tymczasem badania pęcherzyków powietrza w lodzie lodowców Grenlandii i Antarktydy, dostarczając informacji o składzie atmosfery w ostatnich kilkuset tysiącach lat, jednoznacznie wskazują, że np. 115–130 tysięcy lat temu (w interglacjale eemskim) zawartość gazów cieplarnianych, była znacznie wyższa niż obecnie, a więc z pewnością nie działalność człowieka była tego przyczyną.

Zlodowacenia to przykład procesów geologicznych, które wynikają z przyczyn pozaziemskich, w tym przypadku ze zmian orbity Ziemi, są związane z procesami klimatycznymi i zachodzą znacznie szybciej niż formowanie lub rozpad kontynentów. Na globalne przemiany litosfery składają się nie tylko powolne ale także i te stosunkowo szybkie procesy geologiczne, z których część odbywa się w katastroficznym tempie trzęsień ziemi czy wybuchów wulkanów. Dobra znajomość zarówno procesów geologicznych jak i klimatycznych, umiejętność przewidywania ich wystąpienia oraz skutków w konkretnym miejscu i czasie jest jednym z zasadniczych warunków bezpiecznego i wygodnego życia na ziemi. Także w Polsce.

4. UŻYTECZNE WŁASNOŚCI I BOGACTWA LITOSFERY

Oczywiście procesy geologiczne nie zawsze mają wymiar katastroficzny. Na szczęście też nie zawsze stanowią zagrożenie dla człowieka. W trakcie formowania się litosfery istnieją warunki do utworzenia się w niej koncentracji użytecznych minerałów lub skał, które po wydobyciu i przejściu odpowiednich zabiegów technologicznych zostaną użyte do zaspokojenia praktycznych potrzeb człowieka. Są to surowce naturalne, które większym lub mniejszym kosztem pozyskują różne działy górnictwa. Różne jest też, i zmienne, na nie zapotrzebowanie. W stosunku

do przeszłości wiele z metali jest obecnie odzyskiwanych na drodze powtórnego przetworzenia, lub po prostu zużywane są one w mniejszej ilości z powodu pojawienia się nowszych, czy też bardziej oszczędnych technologii. Najważniejsza dziś wydaje się ropa naftowa, jeden z tych nieodnawialnych zasobów, które wyczerpią się najszybciej. Póki co alternatywnego źródła energii oprócz jądrowej do powszechnego użycia nie ma.

Jednym z zadań geologii jest więc nadal poszukiwanie złóż węglowodorów. Także w Polsce, mimo, że dzięki badaniom geologicznym wiadomo dziś, jakie regiony świata, z jakim typem budowy górnych warstw litosfery są w nie bardziej bogate, a które mniej. Wysiłki geologów, zarówno w Karpatach, jak i w Wielkopolsce, a ostatnio przede wszystkim na Bałtyku, sprawiły, że $\sim 1/10$ krajowego zapotrzebowania na ropę naftową i $\sim 1/3$ zapotrzebowania na gaz ziemny zostaje pokryta polskim surowcem.

Problemem najwyższej rangi jest także występowanie skał zbiornikowych zawierających naturalne nagromadzenia wód podziemnych. W naszym kraju stanowią one ostatnią i jedyną strategiczną rezerwę wód pitnych. Woda staje się coraz cenniejszym surowcem. Jej zasoby są w dużym stopniu rozpoznane i przynajmniej częściowo odnawialne, stąd ogromnego znaczenia nabiera ochrona jej czystości.

Geolodzy w Polsce, z jednej strony – prowadząc podstawowe badania naukowe – potrafili poznać historię litosfery w stopniu umożliwiającym przedstawienie tej ewolucji w sposób, jaki to uczyniliśmy na wstępie, a z drugiej strony zebrać te obserwacje, które zwłaszcza w okresie powojennym doprowadziły do odkrycia i eksploatacji złóż siarki, miedzi, gazu ziemnego, ropy naftowej, węgla brunatnego, soli, metali żelaznych i metali nieżelaznych (w tym znanych i dawniej cynku, ołowiu, srebra), oraz surowców skalnych. Choć np. wydobywanie siarki znacznie ograniczono, w dużej mierze ze względu na inne obecnie źródła jej pozyskiwania (odsiarczanie ropy naftowej), a wydobywania innych znalezionych kopaliny nigdy nie rozpoczęto, np. rud żelaza w rejonie Suwałk, ze względu na niekorzystne warunki geologiczne ich występowania, to jednak same odkrycia pozostają oczywistym sukcesem geologów.

Intensywna eksploatacja wymienionych wyżej złóż surowców mineralnych na ziemiach Polski w ubiegłym wieku, doprowadziła jednakże do degradacji wielu obszarów, zachwiania równowagi ekologicznej, skażeń metalami ciężkimi gleb i wód (np. kadmem i ołowiem na obszarze Górnego Śląska) i do zagrożeń zdrowia mieszkańców na tych terenach. Dlatego też aktualnie opracowywany i dyskusyjny, szeroko pojęty program "Założeń do zrównoważonego rozwoju kraju" musi

uwzględnić ochronę litosfery w skali regionalnej i globalnej na poziomie równym ochronie biosfery. Znaczący jest i będzie w tym udział geologii.

Przy okazji warto zauważyć, że równolegle do poszukiwań surowców prowadzono też mniej więcej do połowy lat 80—tych zeszłego wieku program podstawowych (wyprzedzających) wierceń badawczych, realizowany zasadniczo poprzez Państwowy Instytut Geologiczny. I choć środki na ten cel były nieporównywalnie mniejsze, to jednak głównie dzięki tym wierceniom osiągnięto obecny stan poznania wglębnej budowy geologicznej Polski.

5. PROBLEMY BADAWCZE

5.1. *Badania podstawowe*

Dzisiejsza geologia, konfrontowana z globalnymi teoriami, zwłaszcza z paradygmatem tektoniki płyt litosfery, wymaga podejścia interdyscyplinarnego. Przy możliwości posługiwania się coraz bardziej wyrafinowanymi technikami obserwacyjnymi i analitycznymi, nieodzowna jest współpraca specjalistów z różnych dziedzin, aby można było zmierzyć się z coraz bardziej subtelnymi hipotezami i dociekliwymi pomysłami badawczymi. Mimo to, klasyczny obraz geologa z młotkiem, jak i dewiza geologów *mente et malleo* – „myślą i młotem”, są nadal aktualne. Pod pojęciem „młot” nigdy zresztą nie kryło się tylko proste narzędzie do rozbijania skały, ale całe techniczne zaplecze badań geologicznych, w tym różnorodna aparatura laboratoryjna, którą dziś stanowią skomplikowane urządzenia o wartości setek tysięcy a nawet milionów złotych. Jednakże nadal początkiem wszystkich badań jest podstawowa praca w terenie. Obserwacja w terenie jest też ostatecznym testem wszystkich modeli i teorii, także tych powstałych przy użyciu drogiej i skomplikowanej aparatury. Wartość modeli i teorii jest wprost proporcjonalna do ilości obserwacji terenowych, które potrafią one spójnie wytłumaczyć.

To naturalne, że znaczne koszty nowoczesnych badań muszą się przekładać w racjonalny sposób na korzyści uzyskiwane przez społeczeństwo, bo ono musi za te badania zapłacić. Jest oczywiste, że badania podstawowe, bez których nie ma żadnej nauki, mogą często nie oferować natychmiastowej wymiernej, korzyści poza czystym poznaniem. Mimo to muszą być one także prowadzone i finansowane. W przypadku nauk o Ziemi z łatwością mogą być one finansowane z dochodów, jakie społeczeństwa uzyskują dzięki wykorzystaniu wiedzy lub wdrażaniu wyników badań tych nauk. Według szacunków ekonomistów, zyski te w różnych krajach wahają się między 3 a 8 % PKB, co oznacza, że średnio 1000—krotnie przekraczają roczne wydatki tych krajów przeznaczane na utrzymanie ich służb geologicznych. Te liczby są warte szczególnego uświadomienia politycznym decyden-

tom. Społeczeństwa nie dopłacają do badań prowadzonych w ramach programów nauk o Ziemi. Rzec można: jest przeciwnie.

Do podstawowych problemów badawczych na pewno należy poznanie składu, struktury i dynamiki płaszczka, a także jądra Ziemi, poprawne zrozumienie działania maszyny cieplnej, jaką jest nasz glob. Jedno z frapujących zagadnień to ilość wody w płaszczu Ziemi (nie mylić z osiągalnymi wiertniczo podziemnymi wodami pitnymi!), zwłaszcza w około 250-kilometrowej sferze znajdującej się między granicami fazowymi na głębokości 400 km i 650 km, a więc problem pochodzenia ziemskiej hydrosfery. Inny problem to obecność i rola w funkcjonowaniu globu metanu, dwutlenku i tlenku węgla – gazów wydostających się z płaszczka najczęściej razem z materią wulkaniczną decydującą o rozroście litosfery. Przy okazji warto zauważyć, że procesowi temu towarzyszy bogate życie w głębi oceanów, nie oparte ani na tlenie, ani na świetle słonecznym.

Dostępny geologii klucz, do zrozumienia w jaki sposób działa Ziemia jako system, znajduje się w oceanach. Nie chodzi tu jednak o badania wód mórz i oceanów ani o ich biologię, tym zajmuje się oceanologia, lecz o wszechstronne badania skał z den oceanów. Zapoczątkowane na większą skalę zaledwie 40 lat temu spowodowały rewolucję naukową i dały zupełnie nowe narzędzia do interpretacji historii globu. Jednak mimo rewolucji w poglądach, nadal jest ogromnie dużo do odkrycia i do zrozumienia, także na kontynentach.

W skałach osadowych zapisana bywa zmienność klimatu. Umiejętność datowania i odczytania tego zapisu z obserwacji sedymentologicznych, danych geochemicznych czy paleobiologicznych, ma ogromne znaczenie dla poznania długookresowych trendów, jak i krótkookresowych wahań klimatycznych. Odtwarzać można także wpływ działalności gospodarczej człowieka w przeszłości na przebieg procesów sedymentacyjnych, na zmiany środowiska, a także na jego zanieczyszczenie. Badania takie mają duże znaczenie w ocenie i prognozowaniu niekorzystnych zmian środowiska pod wpływem antropopresji, mogą być punktem wyjścia dla opracowania metod zapobiegania im lub minimalizacji skutków. Odpowiednio wykonane mapy pozwalają na odczytanie zapisu oscylacji klimatycznych w interwałach kilku tysięcy lat lub kilkuset lat. Mogą pomóc takie mapy w planowaniu rozwoju rejonów nadmorskich (często gęsto zaludnionych), nizin, obszarów podmokłych. Zmiany linii brzegowej zbiorników wodnych pokazują współzależność klimatu i procesów geologicznych. Badania sedymentologiczne są również ważne dla rekonstrukcji zapisanych w skałach dawniejszych wydarzeń katastroficznych, a co za tym idzie, dla trafnej oceny zagrożeń w przyszłości. Na marginesie można dodać, że prognozy takie są wykorzystywane m. in. przez firmy ubezpieczeniowe.

Dostępny dla nauk o Ziemi, zwłaszcza mineralogii i geochemii, klucz do zagadki przeszłości kosmosu i tworzenia się naszego Układu Słonecznego znajduje się w minerałach i skałach pochodzenia pozaziemskiego: w meteorytach, w skałach Księżyca i Marsa (znanych po części z meteorytów marsjańskich), w drobnych, często submikroskopowych, cząstkach pyłów kosmicznych. Pośród ponad 300 minerałów zidentyfikowanych w meteorytach pięćdziesiąt nie jest znanych w skałach Ziemi. Rozpoznano nanominerały, które wykryły się jeszcze przed ostatecznym uformowaniem się naszego Układu Słonecznego. Olbrzymi postęp i rozwój astronomii, obrazy morfologii planet, planetoid i komet, a także analizy składu chemicznego tych ciał przekazywane na Ziemię z pojazdów kosmicznych i ich lądowników powodują zapotrzebowanie na badanie tej materii i interpretacje kosmogeniczne, podnosząc znacznie rolę kosmomineralogii i kosmochemii.

5.2. Praktyczne aspekty badań geologicznych i ich znaczenie dla społeczeństwa

Istnieją liczne obszary, na których badacze litosfery zapewniają społeczeństwu bezpośrednie korzyści ze swych działań. Oprócz rozpoznawania złóż surowców mineralnych i skalnych (dla przemysłu i budownictwa) trudno przecenić sens i konieczność badania wód podziemnych dla lepszego rozumienia ich dynamiki i całego cyklu wodnego, a tym samym rozpoznania ich zasobów. Należy pamiętać, że woda słodka to tylko 2.5 % ogólnej ilości wody na Ziemi, z czego niezbędna do życia woda pitna to zaledwie 0.5 % tych zasobów, gdyż pozostałe 2 % jest uwięzione w polarnych czapach lodowych i w lodowcach. Także możliwość minimalizowania zagrożeń związanych z działaniem naturalnych procesów geologicznych to wynik stale prowadzonych studiów i bieżącej aktywności odpowiednich instytucji badawczych. Wiedzę, nieodzowną dla sporządzania długo- i krótkookresowych strategii gospodarczych opartych na rozpoznawaniu stanu zasobów surowców naturalnych, szacowanym zgodnie z najnowszymi poglądami na procesy akumulacji kopalin użytecznych i stosowanymi technikami ich pozyskiwania, dostarczają na bieżąco geolodzy, mineralodzy i geochemicy. Wzrasta zapotrzebowanie na surowce II generacji. Są to rozproszone w litosferze pierwiastki śladowe, niezbędne dla przemysłu elektronicznego i syntezy kryształów. Wielką rolę w ich poszukiwaniu i pozyskiwaniu odgrywa geochemia. W ostatnich latach obserwuje się gwałtowny rozwój nanotechnologii. W wielkiej plejadzie minerałów znane są nanominerały (np. niektóre zeolity, minerały ilaste) o budowie pakietowej lub rurkowej strukturze, przydatne do takich technologii. Rozwijają się geomikrobiologia i biogeochemia. Wyniki badań materii krystalicznej utworzonej w minerałotwórczych procesach kosmicznych np. w wyniku zderzeń obiektów pędzących z prędkością kosmiczną (metamorfizm impaktytowy, szokowy) znajdują przełożenie na ziemskie technologie syntezy kryształów. Np. produkcja diamentów dla celów technicznych polega na wytworzeniu wielkich ciśnień podobnych tym, jakie dzia-

lają przy tego rodzaju zdarzeniach kosmicznych. W Polsce stosowane są takie technologie.

Geolodzy uczestniczą też w działaniach niezależnie zmierzających do poszukiwania czystych sposobów produkowania energii. Innym obszarem stale koniecznej aktywności geologów i mineralogów jest wspomaganie rolnictwa poprzez badanie zespołu procesów glebotwórczych, czy rekultywację zdegradowanych gleb. W tym miejscu należy wymienić geologię środowiskową (environmental geology), która wysuwa się na czoło współczesnych dyscyplin geologii stosowanej. Obejmuje ona geologiczne aspekty naturalnego środowiska abiotycznego stając się nieodzownym elementem naukowych podstaw zrównoważonego rozwoju społeczeństwa. Łączy się z tym geochemiczne i hydrogeochemiczne monitorowanie zanieczyszczeń gruntów i wód, nie tylko powierzchniowych, ale i skorupowych. Dotyczy to zanieczyszczeń powstałych zarówno w wyniku działalności człowieka jak i w wyniku naturalnych procesów geologicznych – zanieczyszczeń geogenicznych (jest to jeden z tych problemów, którym zajmuje się niedawno powstałe International Medical Geology Association). Innym problemem jest geologiczne rozpoznanie podłoża i wytypowanie miejsc przeznaczonych do składowania szkodliwych odpadów (w tym promieniotwórczych) tak, aby nie stanowiły zagrożenia. Na obszarach intensywnie urbanizowanych, w tworzących się megamiastach, znaczenia nabiera rozbudowa ich niekoniecznie wzwyż, ale w głąb, a do tego znów potrzebni są geolodzy. W rejonach bogatych w naturalne źródła ciepła badania geologiczne potrzebne są dla ich poznania i kontrolowanego udostępniania. Rozwija się tu nowa specjalizacja – geotermia. Aczkolwiek w Polsce wykorzystanie ciepła pochodzącego z wnętrza Ziemi, ze względu na budowę geologiczną jest punktowe (Podhale, Górny Śląsk, Pomorze; inne miejsca, np. Jelenia Góra, czy Radomsko – czekają), to i tak w tym zakresie należymy do czołówki europejskiej. Wyprzedza nas tylko Islandia, której budowa geologiczna sprawia, iż jest to najbardziej gorąca geotermalnie wyspa na świecie. Wreszcie pole, na którym potrzebne jest również zaangażowanie geologii to ochrona dziedzictwa kultury materialnej ludzkości, np. dawnych kopalni, skalnych budowli.

Niewątpliwie jednym z problemów geologii i innych nauk o Ziemi jest znalezienie sposobu na przekazanie prostym językiem, zrozumiałym dla nieprzygotowanego odbiorcy, wiedzy wynikającej z naszych badań, tak by potrafił on ocenić jej znaczenie dla siebie. Nie tyle jest to sprawa lepszych komputerów i wyrafinowanych programów, co raczej intelektualnego wysiłku dla nadania takiej formy efektom naszych prac, by mogły być one czytelne także bez znajomości specjalistycznego żargonu. Jednym z podstawowych środków prezentacji wiedzy geologicznej są mapy geologiczne wykonane przy użyciu odpowiednio standaryzowanych technik.

Bardzo ważne jest właściwe upowszechnienie tworzonej przez geologów wiedzy wśród poszukujących jej odbiorców – potencjalnych użytkowników sporządzonej przez nas informacji. Choć kraj nasz nie leży w strefie sejsmicznej typu japońskiego czy śródziemnomorskiego, to nie znaczy, że jest wolny od zagrożeń sejsmicznych i wcale często zdarzających się – jak ostatnio, na szczęście o niewielkiej sile – trzęsień ziemi. Osuwiska, czy powódzie to inny typ zagrożeń i realnie zachodzących katastrof, które w całości są przejawami procesów geologicznych kształtujących litosferę, na której żyjemy. Są one, niestety, częste w naszym kraju. Odpowiednie, łatwo czytelne mapy mogą ogromnie pomóc w uniknięciu tych zagrożeń. Przy planowaniu zabudowy jakiegoś obszaru mapy geologiczne są nieodzowne, bowiem ich analiza pokazuje budowę wglębną terenu, rodzaje skał, przestrzenne relacje między nimi. Skały ilaste mogą zmieniać objętość – kurczy się lub pęcznieć, skały gipsowe mogą się rozpuścić, a przewarstwienia piasku z iłem w podłożu stawianego budynku mogą zagrozić stabilności całej konstrukcji. Dobrym przykładem jest tu wspomniany już błąd budowniczych słynnej wieży w Pizie, który wyrósł z takiej właśnie nieświadomości.

6. INICJOWANIE I FINANSOWANIE BADAŃ, WSPÓŁPRACA MIĘDZYNARODOWA

Wiadomo, że inicjatorem badań naukowych może być każdy, kto ma odpowiedni pomysł. Może to być indywidualny badacz, może to być wyspecjalizowana instytucja. Jest oczywiste, że zespołowe projekty nastawione na rozwiązanie konkretnych problemów naukowych, jasno określonych już w tytule projektu, jeżeli nie całkowicie oryginalnych i nowatorskich, to przynajmniej zdecydowanie włączających się w główny nurt badań na świecie, mają znacznie więcej szans przed gremiami decydującymi o przyznawaniu funduszy, czy to w kraju, czy to za granicą.

Międzynarodowe programy bezpośrednio ukierunkowane na zrozumienie ewolucji naszej planety i promujące „mądre zarządzanie” powierzchnią Ziemi, pojętej jako fundament życia i cywilizacji, mają szansę być finansowane przez UNESCO. IUGS – Międzynarodowa Unia Nauk Geologicznych, jako organizacja pozarządowa, nastawia się na finansowanie aktywności skupionej na prowadzonych przez przedstawicieli nauk o Ziemi badaniach źródeł minerałów/surowców i energii oraz warunków ich uzyskania (szczególnie preferowany jest temat: woda i łączące się z nią ekosystemy), gdyż te sfery mogą potencjalnie w istotny sposób ograniczyć lub zniweczyć wysiłki i działania na rzecz zrównoważonego rozwoju.

IGCP (International Geological Correlation Programme przemianowany obecnie na International Geoscience Programme), jest platformą dla monitorowania,

dyskusowania i oceniania istniejących programów i mniejszych projektów, ale także do podejmowania i do wspólnego, czyli międzynarodowego, rozwiązywania ważnych, dobrze sformułowanych problemów naukowych, także tych bardzo wyrafinowanych. Jeszcze inne możliwości kryją się za przyjętą strategią badawczą programu głębokich wierceń ICDP (International Continental Drilling Program), którego Polska jest członkiem.

Dotychczasowe programy ramowe UE, ze względu na ogromną skalę i wybiegające w odległą przyszłość społeczne skutki wielu badań w dziedzinie geologii, nie są potencjalnym sponsorem badań tego rodzaju zakładając, że będą je prowadzić bądź rządy poszczególnych państw bądź prywatne sektory wielkoprzemysłowe. Tylko w jednym z 7 priorytetów tematycznych obecnego 6 PR UE można doszukiwać się pewnych związków z problematyką geologiczną, w pozostałych 6 – żadnego. Dodatkowo urzędnicy unijni podkreślają, że publiczne pieniądze nie mogą iść na realizację masy drobnych projektów, często – w ich ocenie – dublowanych a nawet multiplikowanych, zwłaszcza, jeśli nie niosą one w sobie *explicitie* oczywistej i szybkiej korzyści dla społeczności UE.

Niewątpliwym, niestety w Polsce ciągle teoretycznym, źródłem pieniędzy na badania naukowe mogą być i powinny być prywatne fundacje, niezależne od agend rządowych. Konieczne wydaje się podjęcie, na przykład przez PAN, działań zmierzających do stworzenia zachęcającego uregulowania prawnego (przy odpowiednich odpisach podatkowych), sprzyjającego powstaniu tych fundacji. Uchwalona niedawno nowa ustawa o finansowaniu nauki nic w tym względzie pozytywnego nie wniosła.

7. WKŁAD POLAKÓW W POZNANIE GEOLOGII INNYCH REJONÓW ŚWIATA

Polscy geolodzy mogą odnotować znaczne sukcesy w poznaniu litosfery naszego globu. Poczynając od XIX w. prowadzili badania na wszystkich kontynentach. W ostatnich dziesięcioleciach, obok geologów pracujących indywidualnie w wielu krajach świata, działały duże i długookresowe polskie ekspedycje geologiczne. Pracowały one w północnym Wietnamie, w Mongolii, Algerii, Mauretanii, Libii, na Kubie. Mamy wszyscy wybitnego poprzednika – Ignacego Domeykę, filomate, przyjaciela Mickiewicza, mineraloga, geologa, górnika, którego skomplikowane losy po nieudanym powstaniu listopadowym na ponad 60 lat zaprowadziły do Chile, i którego zasługi przybrana ojczyzna do dziś sławi.

Wkład polskich geologów w badania obszarów polarnych, zapoczątkowany został również nie całkiem dobrowolnym udziałem w eksploracji Syberii, a następ-

nie – ponad 100 lat temu – udziałem Henryka Arctowskiego i Antoniego Bolesława Dobrowolskiego w pierwszej ekspedycji naukowej w Antarktyce. Od tego czasu znaczący wkład polscy geolodzy wnieśli i dalej wnoszą w poznawanie regionów podbiegunowych, zarówno Antarktyki, jak i Arktyki – w badania Grenlandii, Islandii i Spitsbergenu, wykorzystując polskie i zagraniczne stacje polarne.

Obecny udział polskich geologów w międzynarodowych projektach badawczych obejmujących inne kraje, w porównaniu z minionymi latami, jest skromniejszy. Jak wspomniano na wstępie, litosfera Polski, pod względem komplikacji w jej budowie, nie ma sobie równych w Europie. Tylko w naszym kraju występują obok siebie: prekambryjski kraton wschodnioeuropejski, paleozoiczne orogeny oraz mezozoiczno-kenozoiczny górotwór alpejski (Karpaty). To właśnie sprawiło, że polska geologia – od jej zarania – odznacza się uznaną na świecie wielostronnością. Polscy geolodzy ze wszystkich środowisk naukowych: wyższych uczelni, Polskiej Akademii Nauk i Państwowego Instytutu Geologicznego, w znacznym stopniu sprościli wyzwaniom naukowym wynikającym z wielkiego zróżnicowania litosfer w naszym kraju. Świadczą o tym m.in. odkrycia złóż wielu surowców mineralnych, pitnych wód podziemnych i ciągle rosnący wkład w badania zmierzające do ochrony środowiska. Należy dołożyć wszelkich starań, aby – podobnie jak w innych dziedzinach nauki w naszym kraju – dojmujący brak środków na badania nie przekreślił znakomitych tradycji i dzisiejszych możliwości polskiej geologii.